



Europäisches  
Patentamt

European  
Patent Office

Office européen  
des brevets

(11.12.03)

REC'D 22 DEC 2003

WIPO

PCT

IP & S-DE  
zugestellt

am 23. Juli 2003

Frist

Bescheinigung

Certificate

Attestation

PCT/IB03/5664

Die angehefteten Unterla-  
gen stimmen mit der  
ursprünglich eingereichten  
Fassung der auf dem näch-  
sten Blatt bezeichneten  
europäischen Patentanmel-  
dung überein.

The attached documents  
are exact copies of the  
European patent application  
described on the following  
page, as originally filed.

Les documents fixés à  
cette attestation sont  
conformes à la version  
initialement déposée de  
la demande de brevet  
européen spécifiée à la  
page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

02102735.4

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Der Präsident des Europäischen Patentamts;  
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

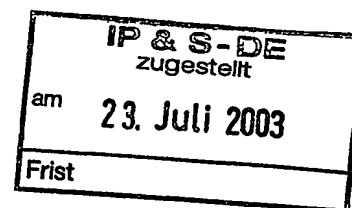
Le Président de l'Office européen des brevets  
p.o.

R C van Dijk



Anmeldung Nr:  
Application no.: 02102735.4  
Demande no:

Anmeldetag:  
Date of filing: 12.12.02  
Date de dépôt:



Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

Philips Corporate Intellectual Property GmbH  
Habsburgerallee 11  
52064 Aachen  
ALLEMAGNE  
Koninklijke Philips Electronics N.V.  
Groenewoudseweg 1  
5621 BA Eindhoven  
PAYS-BAS

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:  
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.  
If no title is shown please refer to the description.  
Si aucun titre n'est indiqué se référer à la description.)

Verfahren zum Segmentieren einer dreidimensionalen Struktur aus einem  
dreidimensionalen Datensatz unter Berücksichtigung von Benutzerkorrekturen

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed /Priorité(s)  
revendiquée(s)  
Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/  
Classification internationale des brevets:

G06F19/00

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten/Contracting states designated at date of  
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE SI SK

BESCHREIBUNG

Verfahren zum Segmentieren einer dreidimensionalen Struktur aus einem dreidimensionalen Datensatz unter Berücksichtigung von Benutzerkorrekturen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Segmentieren einer dreidimensionalen Struktur aus  
 5 einem dreidimensionalen, insbesondere medizinischen Datensatz, unter Berücksichtigung von Benutzerkorrekturen. Das Verfahren wird mit Hilfe eines dreidimensionalen deformierbaren Modells, dessen Oberfläche durch ein Netz mit Netzknoten und diese verbindende Maschen gebildet ist, durchgeführt. Die Erfindung bezieht sich außerdem auf eine Bildverarbeitungseinrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens sowie auf ein Computerprogramm zur deren  
 10 Steuerung.

Ein Verfahren der eingangs genannten Art, bei dem allerdings a priori keine Benutzerkorrekturen vorgesehen sind, ist aus einem Aufsatz von McInerney et al. „Deformable models in medical image analysis: A survey“ in der Zeitschrift Medical Image Analysis, 1(2):91-108,  
 15 1996 bekannt. Danach wird ein deformierbares Modell als eine elastische Oberfläche dargestellt, die unter dem Einfluss einer internen und einer externen sogenannten Energie ihre Form und Position verändern kann. Dabei hat die interne Energie die Aufgabe, die Form des Modells, das aufgrund medizinischen Vorwissens über die zu segmentierende Struktur erzeugt worden sein kann, möglichst gut zu erhalten, während die externe Energie ein Bewegen der  
 20 Modelloberfläche in Richtung auf die Strukturänder bewirkt. Die externe Energie wird aus dem dreidimensionalen Datensatz abgeleitet. Die Maschen haben z.B. die Form eines Dreiecks, dessen Eckpunkte durch drei benachbarte Netzknoten an der Oberfläche des Modells definiert sind.

25 Bei dem bekannten Verfahren werden in dem dreidimensionalen Datensatz entlang von Flächennormalen der Dreiecksflächen Kandidatenpunkte gesucht, d.h. Punkte, die wahrscheinlich auf der Oberfläche der zu segmentierenden Struktur angeordnet sind, wobei die

Oberfläche in der Regel durch einen ausgeprägten Gradienten der Datenwerte gekennzeichnet ist. Nachdem für die Maschen des die Oberfläche des Modells definierenden Netzes Kandidatenpunkte ermittelt worden sind, erfolgt eine Neuberechnung der Netzknotenpunkte des Modells auf Basis der gefundenen Kandidatenpunkte. Dabei werden die neuen Netzknotenpunkte so berechnet, dass für diese die gewichtete Summe aus interner und externer Energie ein Minimum einnimmt. Danach wird das Verfahren unter Zugrundelegung der neu berechneten Netzknotenpunkte mehrfach wiederholt, wobei sich bei jeder Wiederholung das Modell der Form der zu segmentierenden Struktur annähert. Dieses iterative Verfahren ist beendet, sobald ein Abbruchkriterium, z.B. eine bestimmte Anzahl an Wiederholungen, erfüllt ist.

10

Nachteilig ist bei diesem und auch bei anderen automatischen Segmentierungsverfahren, dass Segmentierungsfehler entstehen, z.B. durch Artefakte in dem dreidimensionalen Datensatz. Diese Segmentierungsfehler treten häufig auf, wenn der Abstand einer zu segmentierenden Struktur zu einer anderen Struktur klein ist. Zur Vermeidung von Segmentierungsfehlern sind verschiedene Verfahren bekannt, von denen im folgenden einige erläutert werden.

15

Ein einfaches Verfahren zur Vermeidung bzw. zur Korrektur von Segmentierungsfehlern ist die Wiederholung des oben beschriebenen Anpassungsverfahrens mit unterschiedlichen Anfangsmodellen und unterschiedlichen Anfangspositionen des deformierbaren Modells relativ zu der zu segmentierenden Struktur. Dieses Verfahren erfordert ein Vorhersehen des Ergebnisses des Anpassungsverfahrens und somit viel Erfahrung des Anwenders. Dieses Vorhersehen ist nahezu unmöglich für komplexe zu segmentierende Strukturen. Außerdem ist dieses Verfahren sehr zeitintensiv.

20

Ein gattungsgemäßes Verfahren gibt dem Anwender dagegen die Möglichkeit, während des Anpassungsverfahrens in den Anpassungsprozeß einzugreifen, indem das Modell bspw. durch Bewegen von einem oder mehreren Netzknotenpunkten manuell verformt wird. Nachteilig ist bei diesem Verfahren, dass die Visualisierung von Benutzerkorrekturen nicht in übersichtlicher

25

Weise für die gesamte zu segmentierende Struktur möglich ist. Deshalb muss das deformierbare Modell schichtweise kontrolliert und gegebenenfalls korrigiert werden. Eine genaue Korrektur ist daher sehr zeitintensiv.

- 5 Ein weiteres bekanntes, gattungsgemäßes Verfahren besteht darin, dass, nachdem eine automatische Segmentierung stattgefunden hat, das angepasste Modell, z.B. durch Verschieben eines Netzpunktes, manuell verformt wird. Mit diesem verformten Modell wird dann die automatische Segmentierung ein zweites Mal durchgeführt. Problematisch ist bei diesem Verfahren, dass der Verfahrensschritt, der die interne und die externe Energie minimiert, die manuell
- 10 verschobenen Netzpunkte zurück an ihre ursprünglichen Positionen bewegt, da diese der minimalen Energie des deformierbaren Modells entsprechen.

- Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren anzugeben, bei dem Segmentierungsfehler mit einem geringen Zeit- und Rechenaufwand vermieden bzw. korrigiert werden
- 15 können. Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zum Segmentieren einer dreidimensionalen Struktur aus einem dreidimensionalen, insbesondere medizinischen Datensatz, unter Berücksichtigung von Benutzerkorrekturen mit den Schritten:

- a) Bereitstellen eines dreidimensionalen, deformierbaren Modells, dessen Oberfläche durch
- 20 ein Netz mit Maschen gebildet ist, die Netzpunkte an der Oberfläche des Modells miteinander verbinden,
- b) Anordnen des Modells an einer Stelle im dreidimensionalen Datensatz, an der sich die zu segmentierende Struktur befindet,
- 25 c) manuelles Verschieben von Netzpunkten,
- d) Neuberechnen der Netzpunkte des Modells unter gewichteter Berücksichtigung von manuell verschobenen Netzpunkten.

Im Gegensatz zu bekannten Verfahren werden bei der Erfindung die manuell verschobenen Netzkpunkte bei der Neuberechnung des deformierbaren Modells gewichtet berücksichtigt. Dies ermöglicht eine unterschiedlich starke Berücksichtigung jedes manuell verschobenen

- 5 Netzkpunktes bei der Deformation, was zu einer Benutzerkorrektur mit geringem Zeitaufwand führt.

- Ein bevorzugtes Verfahren, bei dem verschobene Netzkpunkte, deren Abstand zu einer Grenzfläche der zu segmentierenden Struktur klein ist, stärker berücksichtigt werden als verschobene Netzkpunkte mit einem größeren Abstand zu dieser Grenzfläche, beschreibt Anspruch 2.
- 10

Anspruch 3 definiert ein bevorzugtes Verfahren zur Neuberechnung der Netzkpunkte, das zu guten Segmentierungsergebnissen führt.

- 15 Eine Bildverarbeitungseinrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist in Anspruch 4 beschrieben. Anspruch 5 definiert ein Computerprogramm zur Steuerung der Bildverarbeitungseinrichtung nach Anspruch 4.

Die Erfindung wird im folgenden anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

20

Fig. 1 eine zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignete

Bildverarbeitungseinrichtung in schematischer Darstellung,

Fig. 2 ein Ablaufdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 3 ein deformierbares Modell eines Rückenwirbels,

- 25 Fig. 4 einen Teil einer Wirbelsäule mit einem auf einem Rückenwirbel angeordneten deformierbaren Modell,

Fig. 5 das auf dem Rückenwirbel angeordnete deformierbare Modell nach Ausführung eines bekannten Anpassungsverfahrens,

Fig. 6 das auf dem Rückenwirbel angeordnete deformierbare Modell nach einer manuellen Korrektur und

Fig. 7 das auf dem Rückenwirbel angeordnete deformierbare Modell nach Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

5

Die in Fig. 1 dargestellte Bildverarbeitungseinrichtung umfasst einen Bildverarbeitungs- und Steuerprozessor 1 mit einem Speicher 2, in dem ein deformierbares Modell einer zu segmentierenden Struktur und ein dreidimensionaler, insbesondere medizinischer Datensatz gespeichert sein können. Der Bildverarbeitungs- und Steuerprozessor 1 kann z.B. mittels eines  
10 Glasfaserkabels 3 mit einer nicht näher dargestellten bildgebenden Einrichtung, wie einem Magnetresonanz- oder einem Computertomographiegerät, gekoppelt sein. Die von dem Bildverarbeitungs- und Steuerprozessor 1 segmentierte Struktur kann auf einem Monitor 4 wiedergegeben werden. Der Benutzer kann über eine Tastatur 5 oder durch andere, in Fig. 1 nicht näher dargestellte Eingabeeinheiten auf den Bildverarbeitungs- und Steuerprozessor 1  
15 zugreifen.

Fig. 2 zeigt den Ablauf eines Segmentierungsverfahrens, das mit der Bildverarbeitungseinrichtung nach Figur 1 durchgeführt werden kann.

20 Nach der Initialisierung im Schritt 100 wird im Schritt 101 das deformierbare Modell M einer zu segmentierenden Struktur sowie ein dreidimensionaler Datensatz geladen, der die zu segmentierende Struktur enthält.

Fig. 3 zeigt ein deformierbares Modell M, das in diesem Ausführungsbeispiel das Modell eines  
25 Rückenwirbels (vertebra) ist. Auch andere Strukturen können mit Hilfe eines deformierbaren Modells segmentiert werden, z.B. der am oberen Ende des Oberschenkelknochens befindliche Femurkopf oder ein Organ, bspw. das Herz. Die Oberfläche des deformierbaren Modells M wird durch ein Netz gebildet, dessen dreieckförmige Maschen je drei benachbarte Netzpunkte auf der Oberfläche des Modells miteinander verbinden. Anstelle eines in dieser

Weise triangulierten Modells könnte die Oberfläche auch durch eine beliebige Polygonstruktur definiert sein, bei der die Maschen des Netzes nicht dreieckförmig sind, sondern eine von drei verschiedene Anzahl an Netzknoten unter Bildung eines Polygons miteinander verbinden.

- 5 Ein deformierbares Modell kann aus mehreren Trainingsdatensätzen erzeugt werden, in denen jeweils das gleiche Objekt durch einen Fachmann so manuell segmentiert worden ist, dass jedes segmentierte Objekt die gleiche Topologie aufweist. Eine Mittelung, im einfachsten Fall eine arithmetische Mittelung, über alle segmentierten Objekte führt zu einem Objekt, dass als deformierbares Modell bezeichnet wird.

10

Das erfindungsgemäße Verfahren ist auch anwendbar, wenn das deformierbare Modell in anderen Ausführungsformen auf andere Art und Weise erzeugt worden ist, z.B. durch Triangulation eines Modells eines Rückenwirbels. Ein häufig angewandtes Triangulationsverfahren ist aus dem Artikel „Marching cubes: A high resolution 3d surface construction algorithm.“, W.E. Lorensen und H.E. Cline, Computer Graphics, 21(3):163-169, 1987 bekannt.

15

Im Schritt 102 wird das deformierbare Modell M relativ zur zu segmentierenden Struktur so ausgerichtet, dass die Oberfläche des Modells möglichst gut mit den Konturen der zu segmentierenden Struktur übereinstimmt.

20

Teile des deformierbaren Modells können im Schritt 103 manuell verändert werden. Dabei kann ein Anwender Dreiecksflächen oder einzelne Netzknoten des Modells verschieben. Im Schritt 104 wird für jede Masche bzw. in diesem Ausführungsbeispiel für jedes Dreieck der Oberfläche des deformierbaren Modells jeweils ein Kandidatenpunkt  $\hat{x}_i$  ermittelt. Der Kandidatenpunkt  $\hat{x}_i$  liegt auf der Flächennormalen  $n_i$  eines Dreiecks, wobei die Flächennormale  $n_i$  ein Einheitsvektor ist und von einem Mittelpunkt  $x_i$  der Dreiecksfläche ausgeht. Die

25



Positionen  $x_i$  der Mittelpunkte bezeichnen die Positionen der entsprechenden Dreiecksflächen bevor sie im Schritt 103 u.U. manuell verschoben worden sind. Die Position des Kandidatenpunktes auf der Flächennormalen wird nun so gewählt, dass die Funktion

$$f(j) = Dj^2\delta^2 - F(\mathbf{x}_i + j\delta \mathbf{n}_i) \quad (1)$$

5

ein Minimum aufweist. Hierbei ist  $D$  ein frei wählbarer, aber konstanter Wert, der angibt, in welchem Ausmaß der Abstand zur Dreiecksfläche bei der Ermittlung eines Kandidatenpunktes berücksichtigt wird. Des weiteren ist  $d$  ein dem Abstand zweier auf der Flächennormalen aufeinander folgender Punkte entsprechender Skalar und  $j$  ein Index, der Punkte auf der Flächennormalen bezeichnet. Die sogenannte Kantendetektionsfunktion  $F(\mathbf{x})$  ist ein Maß für die Wahrscheinlichkeit, dass der Punkt  $\mathbf{x}$  auf der Oberfläche der zu segmentierenden Struktur liegt. Diese Funktion kann bspw. nach der Beziehung

10

$$F(\mathbf{x}) = \pm \mathbf{n}^T \mathbf{g}(\mathbf{x}) \quad (2)$$

15 berechnet werden. In dieser Gleichung ist  $\mathbf{g}(\mathbf{x})$  der Gradient der Datenwerte, dies sind in diesem Ausführungsbeispiel Helligkeitswerte, des dreidimensionalen Datensatzes an der Stelle  $\mathbf{x}$ . Da die Funktion  $F(\mathbf{x})$  dem Skalarprodukt der Vektoren  $\mathbf{n}$  und  $\mathbf{g}(\mathbf{x})$  entspricht, wird die Funktion besonders groß, wenn der Gradient in Richtung der Flächennormalen verläuft. D.h., wenn angenommen wird, dass sich an der Grenzfläche der zu segmentierenden Struktur die  
 20 Helligkeitswerte des dreidimensionalen Datensatzes stark ändern, die Funktion  $F(\mathbf{x})$  besonders groß ist, wenn die Flächennormale senkrecht auf dieser Grenzfläche steht. In diesem Ausführungsbeispiel wird angenommen, dass im Bereich der Grenzfläche die zu segmentierende Struktur Datenwerte aufweist, die größer sind als Datenwerte außerhalb dieser Struktur. Es wird also angenommen, dass der Gradient  $\mathbf{g}(\mathbf{x})$  in die zu segmentierende  
 25 Struktur weist. Die Flächennormale  $\mathbf{n}$  weist dagegen nach außen. Das Vorzeichen der

Funktion  $F(\mathbf{x})$  in Gleichung (2) ist in diesem Ausführungsbeispiel nun so gewählt, dass im Falle einer wie hier definierten Grenzfläche die Funktion  $F(\mathbf{x})$  positiv wird. In anderen Ausführungsbeispielen kann das Vorzeichen auch so gewählt werden, dass bei den oben genannten Größenverhältnissen der Datenwerte im Bereich der Grenzfläche die Funktion  $F(\mathbf{x})$  negativ ist.

5

Der Kandidatenpunkt  $\hat{\mathbf{x}}_i$  berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$\hat{\mathbf{x}}_i = \mathbf{x}_i + \delta \cdot j_i \cdot \mathbf{n}_i. \quad (3)$$

Hierbei bezeichnet  $j_i$  denjenigen ganzzahligen Wert von  $j$ , für den die Funktion der Gleichung (1) ein Minimum aufweist.

10

Nachdem Dreiecksflächen oder Netzkpunkte manuell verschoben worden sind und für jede Dreiecksfläche der Oberfläche des deformierbaren Modells jeweils ein Kandidatenpunkt ermittelt worden ist, erfolgt im Schritt 105 eine Anpassung der Oberfläche des deformierbaren Modells an die gefundenen Kandidatenpunkte und die manuell verschobenen Dreiecksflächen oder Netzkpunkte. Dabei wird das Modell so deformiert, dass die sogenannte Energiefunktion

15

(4)

$$E = E_{\text{ext}} + \alpha E_{\text{int}} + \beta E_{\text{user}}$$

ein Minimum einnimmt. Hierbei ist  $E_{\text{ext}}$  die externe Energie, die die Dreiecksflächen in Richtung der im Schritt 104 ermittelten Kandidatenpunkten bewegt, während  $E_{\text{int}}$  die interne Energie ist, die einer Deformation des Netzes entgegenwirkt. Die Energie  $E_{\text{user}}$  ist eine Energie, die eine Deformation des Modells in Richtung der vom Anwender verschobenen Netzkpunkte oder Dreiecksflächen bewirkt. Die Gewichtungsfaktoren  $\alpha$  und  $\beta$  sind typischerweise so gewählt, dass die drei Energien im wesentlichen in gleichen Teilen zur Gesamtenergie beitragen.

20

25

Als externe Energie kann jede Größe herangezogen werden, die sich bei einer Annäherung des deformierbaren Modells an die durch die Kandidatenpunkte definierte Struktur verkleinert. In diesem Ausführungsbeispiel wird die externe Energie  $E_{\text{ext}}$  durch folgende Gleichung beschrieben:

$$E_{\text{ext}} = \sum_{\Delta} w_i (\mathbf{x}_i - \hat{\mathbf{x}}_i)^2, \quad (5)$$

5

wobei über sämtliche Dreiecke summiert wird. Der Gewichtungsfaktor  $w_i$  berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$w_i = \max \{0, F(\hat{\mathbf{x}}_i) - D j_i^2 \delta^2\} \quad (6)$$

Gemäß Gleichung (6) ist der Gewichtungsfaktor für Kandidatenpunkte  $\hat{\mathbf{x}}_i$ , die mit einer großen Wahrscheinlichkeit auf der Grenzfläche der zu segmentierenden Struktur liegen, die also einen hohen  $F(\hat{\mathbf{x}}_i)$ -Wert aufweisen, und deren Abstand zu den Dreiecksflächen gering ist, größer als für andere Kandidatenpunkte.

Die interne Energie  $E_{\text{int}}$  kann jede Größe sein, die umso kleiner wird, je weniger das Modell deformiert wird. In diesem Ausführungsbeispiel berechnet sich interne Energie nach der Beziehung

$$E_{\text{int}} = \sum_{i=1}^V \sum_{j \in N(i)} ((\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j) - s \mathbf{R} \Delta_{ij})^2. \quad (7)$$

Hierbei ist  $V$  die Anzahl der Dreiecksflächen des Modells,  $s$  ein Skalierungsfaktor,  $\mathbf{R}$  eine Rotationsmatrix und  $\Delta_{ij}$  der Abstand zwischen zwei Mittelpunkten zweier Dreiecksflächen des ursprünglichen, undeformierten Modells. Die Menge  $N(i)$  beinhaltet die Mittelpunkte derjenigen Dreiecksflächen, die zur Dreiecksfläche mit dem Mittelpunkt  $\mathbf{x}_i$  benachbart sind. Bei der erstmaligen Minimierung der Energie gemäß Gleichung (4) ist  $s = 1$ , und  $\mathbf{R}$  ist die Einheitsmatrix.

20

Die Energie  $E_{\text{user}}$  kann jeder Ausdruck sein, der kleiner wird, wenn das deformierbare Modell den verschobenen Dreiecksflächen bzw. Netzknoten angenähert wird, und der die Beiträge der einzelnen verschobenen Dreiecksflächen bzw. Netzknoten wichtet. Die Energie  $E_{\text{user}}$  be-  
 5 rechnet sich in dieser Ausführungsform nach folgender Gleichung:

$$E_{\text{user}} = \sum_{\Delta} \tilde{w}_i (\mathbf{x}_i - \tilde{\mathbf{x}}_i)^2, \quad (8)$$

wobei über alle Dreiecke, die im Schritt 103 manuell verändert worden sind, summiert wird und  $\tilde{\mathbf{x}}_i$  die Mittelpunkte dieser Dreiecke sind. Die Multiplikation mit den Gewichtungsfaktoren  
 10  $\tilde{w}_i = \max\{0, F(\tilde{\mathbf{x}}_i)\}$  bewirkt, dass diejenigen Dreiecksflächen, die von dem Anwender auf eine Grenzfläche der zu segmentierenden Struktur verschoben worden sind, stärker berücksichtigt werden als andere Dreiecksflächen.

In anderen Ausführungsformen könnte durch die Gewichtungsfaktoren  $\tilde{w}_i$  zusätzlich der  
 15 Abstand der Mittelpunkte der manuell verschobenen Dreiecksflächen zu den Kandidatenpunkten berücksichtigt werden. Dies könnte bspw. durch die Gewichtungsfaktoren

$$\tilde{w}_i = \max\{0, F(\tilde{\mathbf{x}}_i) - D\|\tilde{\mathbf{x}}_i - \hat{\mathbf{x}}_i\|\} \quad (9)$$

erreicht werden. Dann würden manuell verschobene Dreiecksflächen, die in der Nähe der Oberfläche der zu segmentierenden Struktur platziert worden sind, stärker berücksichtigt  
 20 werden als verschobene Dreiecke, die weiter entfernt von der zu segmentierenden Struktur sind.

Nachdem durch Minimierung der Energie gemäß Gleichung (4) die Mittelpunkte  $\mathbf{x}_i$  der Dreiecksflächen des deformierten Modells ermittelt worden sind, werden ein neuer  
 25 Skalierungsfaktor  $s$  und eine neue Rotationsmatrix  $\mathbf{R}$  bestimmt. Dabei werden unter

Berücksichtigung der aktuellen Mittelpunkte  $x_i$  der Skalierungsfaktor und die Rotationsmatrix so gewählt, dass die interne Energie minimal wird. In anderen Ausführungsformen könnten die Mittelpunkte  $x_i$ , der Skalierungsfaktor  $s$  und die Rotationsmatrix  $R$  gleichzeitig bestimmt werden, indem bei der Bestimmung des Minimums der Gesamtenergie  $E$  auch der Skalierungsfaktor und die Rotationsmatrix variabel sind.

Nachdem im Schritt 105 das deformierbare Modell an die zu segmentierende Struktur angepasst worden ist, wird im Schritt 106 geprüft, ob ein Abbruchkriterium erfüllt ist. Dieses Abbruchkriterium kann z.B. eine vorbestimmte Anzahl an Wiederholungen der Schritte 103 bis 105 sein oder eine kaum noch vorhandene Änderung der Lage der Netzkpunkte. Ist dieses Abbruchkriterium erfüllt, so endet das Segmentierungsverfahren im Schritt 107. Ist das Abbruchkriterium dagegen noch nicht erfüllt, so wird das Verfahren mit dem Schritt 103 fortgeführt. In anderen Ausführungsformen könnte auch mit dem Schritt 104 fortgefahren werden.

15

Das nach dem Segmentierungsverfahren erhaltene Modell kann gespeichert und auf dem Monitor dargestellt werden. Es stellt die Segmentierung der in dem dreidimensionalen Datensatz enthaltenen zu segmentierenden Struktur dar.

In anderen Ausführungsformen könnten die Schritte 104 und 105 mit dem Schritt 103 vertauscht werden. Dann würden zunächst die Kandidatenpunkte ermittelt werden mittels denen dann unter Minimierung der externen und der internen Energie das Modell deformiert wird. Im nächsten Schritt hätte ein Anwender die Möglichkeit, einzelne Dreiecksflächen bzw. einzelne Netzkpunkte des deformierbaren Modells zu verschieben. Wenn die nachfolgende Überprüfung des Abbruchkriteriums ergibt, dass dieses Kriterium noch nicht erfüllt ist, so wird nach Ermittlung neuer Kandidatenpunkte das Modell unter Minimierung der Gesamtenergie, einschließlich  $E_{\text{user}}$ , erneut deformiert.

25

Des weiteren kann in anderen Ausführungsformen ein zusätzlicher Deformationsschritt 105 zwischen den Schritten 103 und 104 eingefügt werden. Dies ermöglicht jeweils eine Kontrolle des Einflusses der Kandidatenpunkte und des Einflusses der verschobenen Dreiecksflächen auf die Deformation des Modells.

5

Die Vorzüge des erfindungsgemäßen Verfahrens lassen sich anhand der Figuren 4 bis 7 erklären. In diesen Figuren ist eine zweidimensionale sagittale Schicht eines dreidimensionalen Datensatzes zu sehen, wobei in diesem Ausführungsbeispiel der Datensatz mittels eines Computertomographen erzeugt worden ist. Ein deformierbares Modell M ist um einen Rückenwirbel 6 einer Wirbelsäule 7 angeordnet. Fig. 4 zeigt diese Anordnung vor Ausführung eines Anpassungsverfahrens. Ein typisches Resultat der Deformation des Modells M mittels eines der in der Einleitung genannten Verfahren ist in Fig. 5 zu sehen. Im Bereich des rechten Abschnitts 8 des Modells M ist ein Segmentierungsfehler aufgetreten, da der Modellabschnitt 8 auch Teile des benachbarten, unteren Rückenwirbels 9 aufweist. In Fig. 6 ist manuell versucht worden, den Segmentierungsfehler grob zu korrigieren, indem der Modellabschnitt 8 verformt bzw. zum Teil nach rechts verschoben worden ist. Nach dieser groben Korrektur stimmt der Randbereich 11 des Modellabschnitts 8 gut mit der Grenzfläche der zu segmentierenden Struktur überein, wohingegen der rechte Randbereich 13 des Modellabschnitts 8 weniger gut die Grenzfläche annähert. Fig. 7 zeigt das Modell M nach Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, wobei die Gesamtenergie gemäß Gleichung (4) minimiert worden ist. Der linke Randbereich 11 ist kaum verändert worden. Der rechte Randabschnitt 13 wurde dagegen stärker deformiert und ist gut an die Grenzfläche angepasst. Die Ursache für die unterschiedliche Behandlung der manuell veränderten Randabschnitte 11, 13 sind die Gewichtungsfaktoren  $\tilde{w}_i$  in Gleichung (8) bzw. (9). Der Randabschnitt 11 lag auf bzw. nahe der Grenzfläche der zu segmentierenden Struktur, so dass die Kantendetektionsfunktion  $F(\vec{x}_i)$  groß ist, was zu einem großen Gewichtungsfaktor führt. Der Randabschnitt 13 war dagegen weit

10

15

20

25

von der Grenzfläche entfernt, so dass  $F(\tilde{\mathbf{x}}_i)$  einen kleinen Wert liefert, was einen kleinen Gewichtungsfaktor oder  $\tilde{w}_i = 0$  zur Folge hat. Die Anpassung des Randbereichs 13 an die zu segmentierende Struktur erfolgte also allein durch Minimierung der Energie  $E_{\text{ext}} + aE_{\text{int}}$ .

- 5 Durch die Bewertung der manuell verschobenen Netzknoten ist es nicht notwendig, jeden Netzknoten bzw. jede Dreiecksfläche des Modells möglichst genau auf die Oberfläche der zu segmentierenden Struktur zu verschieben. Daher wird durch diese Bewertung eine Benutzerkorrektur mit geringem Zeitaufwand ermöglicht.

BEZUGSZEICHENLISTE

- M      deformierbares Modell
- 1      Bildverarbeitungs- und Steuerprozessor
- 5    2      Speicher
- 3      Glasfaserkabel
- 4      Monitor
- 5      Tastatur
- 6      Rückenwirbel (zu segmentierende Struktur)
- 10   7      Wirbelsäule
- 8      Abschnitt des deformierbaren Modells
- 9      Rückenwirbel
- 11, 13   Rand des Abschnitts 8



PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Segmentieren einer dreidimensionalen Struktur aus einem dreidimensionalen, insbesondere medizinischen Datensatz unter Berücksichtigung von Benutzerkorrekturen mit den Schritten:
  - 5 a) Bereitstellen eines dreidimensionalen, deformierbaren Modells (M), dessen Oberfläche durch ein Netz mit Maschen gebildet ist, die Netzknoten an der Oberfläche des Modells miteinander verbinden,
  - b) Anordnen des Modells (M) an einer Stelle im dreidimensionalen Datensatz, an der  
10 sich die zu segmentierende Struktur (6) befindet,
  - c) manuelles Verschieben von Netzknoten,
  - d) Neuberechnen der Netzknoten des Modells (M) unter gewichteter Berücksichtigung  
15 der manuell verschobenen Netzknoten.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt d) folgende Schritte umfasst:

5

- Bestimmen je eines Kandidatenpunktes für jede durch Maschen des Modells begrenzte Teilfläche, wobei jeder Kandidatenpunkt auf einer Teilflächennormalen liegt,

10

- Zuordnen je eines Gewichtungsfaktors zu jedem verschobenen Netzknoten, wobei der Gewichtungsfaktor, um so größer ist, je kleiner der Abstand des verschobenen Netzknotens zu einer Grenzfläche der zu segmentierenden Struktur ist,

15

- Neuberechnen der Netzknoten des Modells unter Berücksichtigung der bestimmten Kandidatenpunkte, der verschobenen Netzknoten und der zugeordneten Gewichtungsfaktoren.

20

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass im Schritt d) die Netzknoten unter Minimierung einer gewichteten Summe aus externer und interner Energie und einer Energie, die die manuell verschobenen Netzknoten berücksichtigt, neu berechnet werden.

25

30

4. Bildverarbeitungseinrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 mit

- einer Speichereinheit zum Speichern eines deformierbaren Modells, dessen  
5 Oberfläche durch ein Netz mit Maschen gebildet ist, die Netzkpunkte an der  
Oberfläche des Modells miteinander verbinden, und zum Speichern eines  
dreidimensionalen Datensatzes, insbesondere eines medizinischen Datensatzes,
  - einer Bildwiedergabeeinheit zur Wiedergabe einer zu segmentierenden bzw.  
segmentierten Struktur und des deformierbaren Modells,
  - 10 - einer Berechnungseinheit zur Neuberechnung der Netzkpunkte des Modells unter  
gewichteter Berücksichtigung von manuell verschobenen Netzkpunkten,
  - einer Anordnungseinheit zum Anordnen des Modells, an der Stelle im  
dreidimensionalen Datensatz, an der sich die zu segmentierende Struktur befindet,
  - einer Steuereinheit zur Steuerung der Speichereinheit, der Bildwiedergabeeinheit, der  
15 Berechnungseinheit und der Anordnungseinheit entsprechend den folgenden  
Schritten:
- a) Bereitstellen eines dreidimensionalen, deformierbaren Modells, dessen Oberfläche  
20 durch ein Netz mit Maschen gebildet ist, die Netzkpunkte an der Oberfläche des  
Modells miteinander verbinden,
  - b) Anordnen des Modells an einer Stelle im dreidimensionalen Datensatz, an der sich  
die zu segmentierende Struktur befindet,
  - c) manuelles Verschieben von Netzkpunkten,
  - d) Neuberechnen der Netzkpunkte des Modells unter gewichteter Berücksichtigung der  
25 manuell verschobenen Netzkpunkte.

5. Computerprogramm für eine Steuereinheit zur Steuerung einer Speichereinheit, einer Bildwiedergabeeinheit, einer Berechnungseinheit und einer Anordnungseinheit einer Bildverarbeitungseinrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1

5 entsprechend den folgenden Schritten:

- a) Bereitstellen eines dreidimensionalen, deformierbaren Modells, dessen Oberfläche durch ein Netz mit Maschen gebildet ist, die Netzknoten an der Oberfläche des Modells miteinander verbinden,
- 10 b) Anordnen des Modells an einer Stelle im dreidimensionalen Datensatz, an der sich die zu segmentierende Struktur befindet,
- c) manuelles Verschieben von Netzknoten,
- d) Neuberechnen der Netzknoten des Modells unter gewichteter Berücksichtigung der manuell verschobenen Netzknoten.

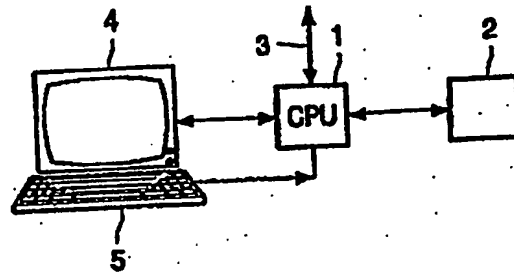
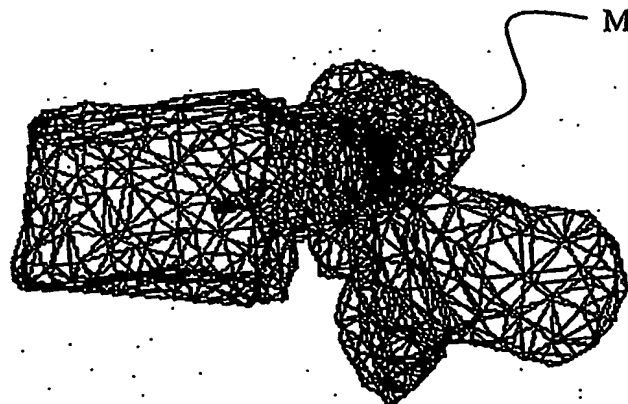
15

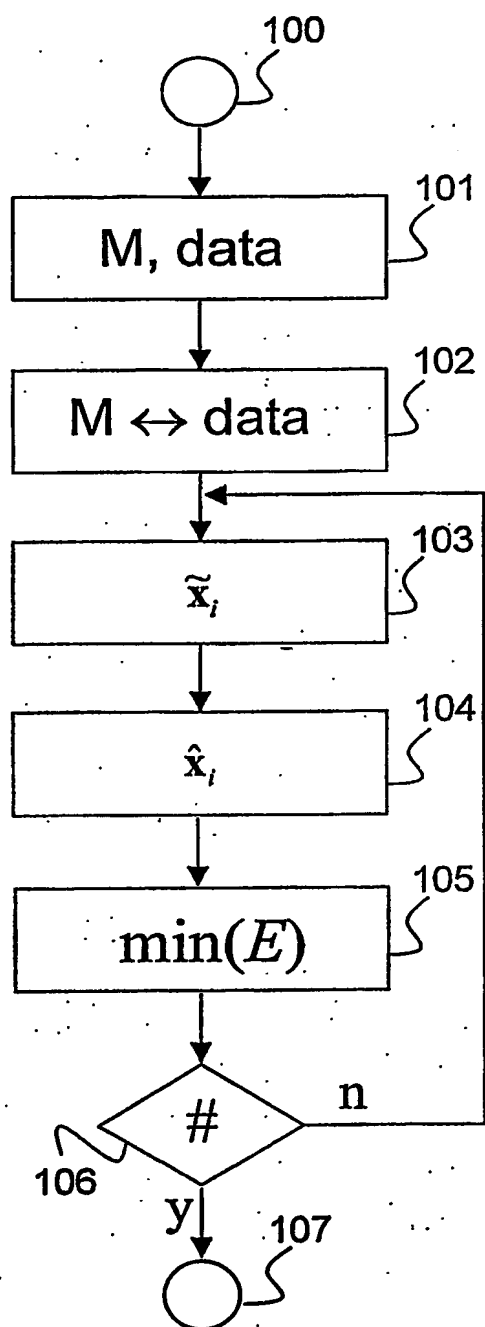
## ZUSAMMENFASSUNG

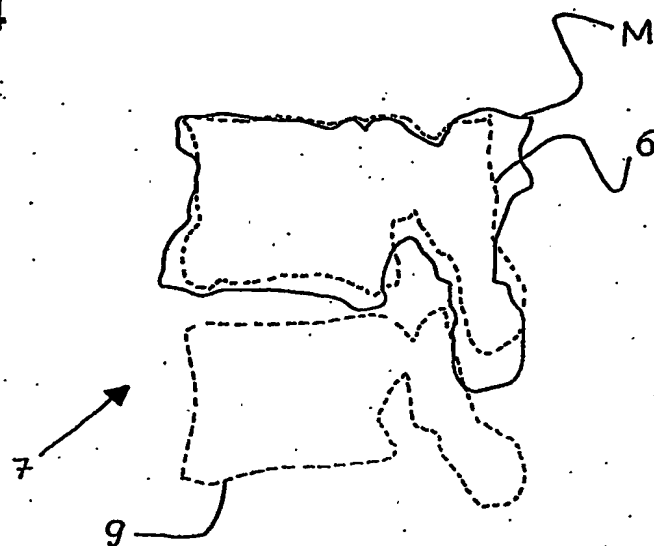
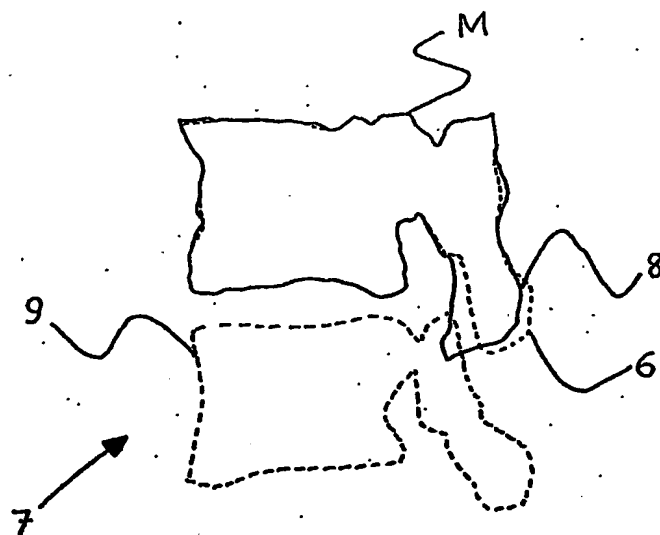
Verfahren zum Segmentieren einer dreidimensionalen Struktur aus einem dreidimensionalen Datensatz unter Berücksichtigung von Benutzerkorrekturen

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Segmentieren einer dreidimensionalen Struktur aus einem dreidimensionalen, insbesondere medizinischen Datensatz unter Berücksichtigung von Benutzerkorrekturen. Das Verfahren wird mit Hilfe eines dreidimensionalen deformierbaren Modells, dessen Oberfläche durch ein Netz mit Netzpunkten und diese verbindende Maschen gebildet ist, durchgeführt. Nachdem das Modell an der Stelle im dreidimensionalen Datensatz, an der sich die zu segmentierende Struktur befindet, angeordnet und ggf. Positionen von
- 10 Netzpunkten durch bekannte Segmentierungsverfahren geändert worden sind, können beliebige Netzpunkte manuell verschoben werden. Die Netzpunkte des Modells werden unter gewichteter Berücksichtigung der manuell verschobenen Netzpunkte neu berechnet.

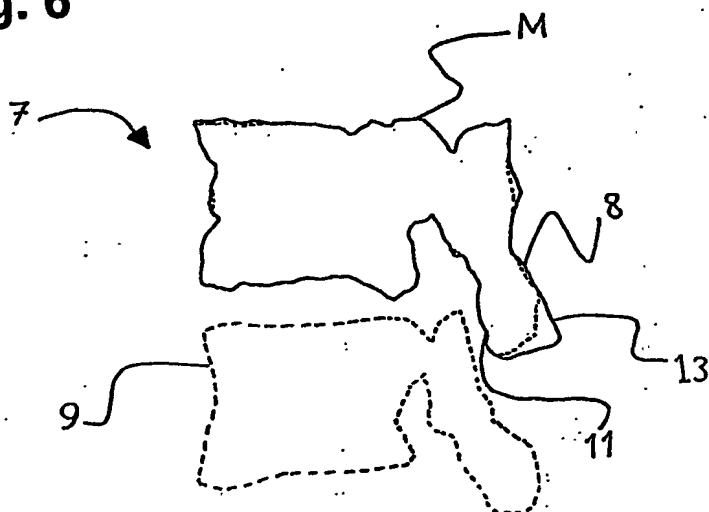
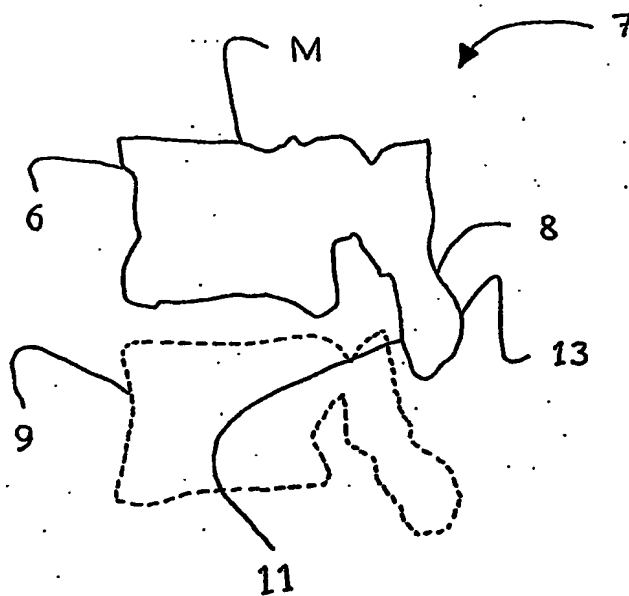
15 Fig. 5

**Fig. 1****Fig. 3**

**Fig. 2**

**Fig. 4****Fig. 5**



**Fig. 6****Fig. 7**

PCT Application

**IB0305664**

